

Περιεχόμενα

Πρόλογος στην ελληνική έκδοση	xvii	2.6. Ανακεφαλαίωση	24
Πρόλογος του συγγραφέα	xix	2.7. Ερωτήσεις	25
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1	Κεφάλαιο 3: Χημικός δεσμός	27
1.1. Μονάδες μέτρησης	1	3.1. Ιοντικός δεσμός	28
1.1.1. Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI)	1	3.1.1. Ιοντική ακτίνα	28
1.1.2. Μονάδες συγκέντρωσης για διαλύματα	3	3.1.2. Αριθμός συναρμογής και αναλογία ιοντικών ακτίνων	30
1.2. Η Στρωματογραφική Κλίμακα	4	3.1.3. Ενέργεια πλέγματος ιδανικών ιοντικών κρυστάλλων	32
1.3. Ανακεφαλαίωση	4	3.2. Κρυσταλλικές δομές πυριτικών ορυκτών	36
1.4. Ερωτήσεις	6	3.3. Ιοντική υποκατάσταση στους κρυστάλλους	37
		3.3.1. Οι κανόνες του Goldschmidt	37
		3.3.2. Ο κανόνας του Ringwood	38
		3.4. Θεωρία του κρυσταλλικού πεδίου	39
		3.4.1. Ενέργεια σταθεροποίησης κρυσταλλικού πεδίου	39
		3.4.2. Εμπλουτισμός σε νικέλιο του πρώιμα σχηματιζόμενου μαγματικού ολιβίνη	41
		3.4.3. Χρώματα συμπλόκων των μετάλλων μετάπτωσης	42
		3.5. Ισομορφισμός, πολυμορφισμός και στερεά διαλύματα	42
		3.5.1. Ισομορφισμός	42
		3.5.2. Πολυμορφισμός	42
		3.5.3. Στερεά διαλύματα	43
		3.6. Ομοιοπολικός δεσμός	44
		3.6.1. Η θεωρία δεσμού σθένους έναντι της θεωρίας των μοριακών τροχιακών	44
		3.6.2. Ιοντική ακτίνα	46
		3.6.3. Υβριδισμός ατομικών τροχιακών	46
		3.6.4. Σίγμα (σ), πι (π) και δέλτα (δ) μοριακά τροχιακά	47
		3.6.5. Βαθμός ιοντικού χαρακτήρα σε ομοιοπολικό δεσμό: ηλεκτραρνητικότητα	48
		3.7. Μεταλλικοί δεσμοί	51
		3.8. Δεσμοί van der Waals	52
ΜΕΡΟΣ Ι – ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΧΗΜΕΙΑ			
Κεφάλαιο 2: Δομή του ατόμου	9		
2.1. Ιστορική αναδρομή	9		
2.1.1. Η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου	9		
2.1.2. Το ατομικό πρότυπο των Rutherford-Bohr	10		
2.1.3. Κυματομηχανική	13		
2.2. Το λειτουργικό (ατομικό) μοντέλο	14		
2.2.1. Κβαντικοί αριθμοί	16		
2.2.2. Ενεργειακές στάθμες των ατομικών τροχιακών	18		
2.3. Η ηλεκτρονιακή δομή στη θεμελιώδη κατάσταση	19		
2.3.1. Κατάληψη των ατομικών τροχιακών από ηλεκτρόνια: αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης	19		
2.3.2. Ο Περιοδικός Πίνακας	20		
2.3.3. Στοιχεία μετάπτωσης	20		
2.4. Χημική συμπεριφορά των στοιχείων	22		
2.4.1. Ενέργεια ιοντισμού και ηλεκτρονιο-συγγένεια	22		
2.4.2. Ταξινόμηση των στοιχείων	23		
2.5. Σύνοψη	24		

3.9. Δεσμός υδρογόνου	53
3.10. Σύγκριση τύπων δεσμού	54
3.11. Κατάταξη των στοιχείων κατά Goldschmidt	54
3.12. Σύνοψη	56
3.13. Ανακεφαλαίωση	57
3.14. Ερωτήσεις	57

ΜΕΡΟΣ II – ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

Κεφάλαιο 4: Βασικές έννοιες θερμοδυναμικής 61

4.1. Χημική ισορροπία	62
4.1.1. Νόμος Χημικής Ισορροπίας – σταθερά ισορροπίας (K_{eq})	62
4.1.2. Η αρχή Le Chatelier	65
4.2. Θερμοδυναμικά συστήματα	65
4.2.1. Χαρακτηριστικά ενός θερμοδυναμικού συστήματος	65
4.2.2. Καταστατικές συναρτήσεις	67
4.2.3. Κανόνας φάσεων του Gibbs	68
4.2.4. Καταστατικές εξισώσεις	69
4.2.5. Είδη θερμοδυναμικών συστημάτων και διαδικασιών	70
4.3. Οι νόμοι της θερμοδυναμικής	70
4.3.1. Ο πρώτος νόμος: διατήρηση της ενέργειας	70
4.3.2. Ο δεύτερος νόμος: η έννοια και ο ορισμός της εντροπίας (S)	71
4.3.3. Η θεμελιώδης εξίσωση: ο πρώτος και ο δεύτερος νόμος σε συνδυασμό	72
4.3.4. Ο τρίτος νόμος: η κλίμακα της εντροπίας	73
4.4. Βοηθητικές θερμοδυναμικές συναρτήσεις	73
4.4.1. Ενθαλπία (H)	74
4.4.2. Θερμοχωρητικότητα (C_p , C_v)	74
4.4.3. Η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs (G)	76
4.4.4. Υπολογισμός της μοριακής ελεύθερης ενέργειας ουσίας υπό σταθερή T και P (\bar{G}_T^P)	77
4.5. Μεταβολή ελεύθερης ενέργειας αντίδρασης σε θερμοκρασία T και πίεση P ($\Delta G_{r,T}^P$)	80
4.5.1. Υπολογισμός της $\Delta G_{r,T}^P$	81
4.5.2. Υπολογισμός του ολοκληρώματος του όγκου	81
4.5.3. Γενική εξίσωση για τη $\Delta G_{r,T}^P$	82
4.6. Συνθήκες για τη θερμοδυναμική ισορροπία και το αυθόρμητο των αντιδράσεων σε κλειστό σύστημα	82
4.7. Μεταστάθεια	84
4.8. Υπολογισμός απλών διαγραμμάτων φάσεων P - T	85
4.8.1. Διαδικασία	85
4.8.2. Η εξίσωση Clapeyron	86
4.9. Πίνακες θερμοδυναμικών δεδομένων	88

4.10. Σύνοψη	89
4.11. Ανακεφαλαίωση	90
4.12. Ερωτήσεις	91

Κεφάλαιο 5: Θερμοδυναμική των διαλυμάτων 95

5.1. Χημικό δυναμικό	96
5.1.1. Μερικές γραμμομοριακές ιδιότητες	96
5.1.2. Ορισμός του χημικού δυναμικού (μ)	97
5.1.3. Έκφραση της ελεύθερης ενέργειας ως προς τα χημικά δυναμικά	98
5.1.4. Κριτήρια για την ισορροπία και την αυθόρμητη μεταβολή μεταξύ φάσεων διαφόρων συστάσεων	98
5.1.5. Κριτήρια ισορροπίας και αυθόρμητης μεταβολής αντίδρασης	99
5.1.6. Η εξίσωση Gibbs-Duhem	100
5.2. Μεταβολή του χημικού δυναμικού (μ_i^P) με τη θερμοκρασία, την πίεση και τη σύσταση	101
5.2.1. Εξάρτηση του χημικού δυναμικού από τη θερμοκρασία	101
5.2.2. Εξάρτηση του χημικού δυναμικού από την πίεση	101
5.2.3. Εξάρτηση του χημικού δυναμικού από τη σύσταση: η έννοια της ενεργότητας	101
5.3. Σχέση μεταξύ της ελεύθερης ενέργειας Gibbs και της σταθεράς ισορροπίας μιας αντίδρασης	103
5.4. Αέρια	104
5.4.1. Καθαρά ιδανικά αέρια και μείγματα ιδανικών αερίων	104
5.4.2. Καθαρά μη ιδανικά αέρια: πτητικότητα και συντελεστής πτητικότητας	105
5.4.3. Μείγματα μη ιδανικών αερίων	107
5.5. Ιδανικά διαλύματα που περιέχουν συμπυκνωμένες φάσεις	110
5.5.1. Ιδιότητες ανάμειξης ιδανικών διαλυμάτων	110
5.5.2. Ο Νόμος του Raoult	113
5.5.3. Ο Νόμος του Henry	114
5.5.4. Ο κανόνας πτητικότητας του Lewis	115
5.5.5. Ενεργότητες των συστατικών σε ιδανικά διαλύματα	116
5.6. Μη ιδανικά διαλύματα που περιέχουν συμπυκνωμένες φάσεις	116
5.7. Συναρτήσεις υπέρβασης	117
5.8. Ιδανικά κρυσταλλικά διαλύματα	118
5.8.1. Εφαρμογή του μοντέλου επιτόπου ανάμειξης σε ορισμένα πυριτικά ορυκτά	119
5.8.2. Εφαρμογή του μοντέλου τοπικής ισορροπίας φορτίου σε ορισμένα πυριτικά ορυκτά	121

5.9. Μη ιδανικά κρυσταλλικά διαλύματα	122
5.9.1. Γενικές εκφράσεις	122
5.9.2. Κανονικά διαλύματα	123
5.10. Σύνοψη	124
5.11. Ανακεφαλαίωση	125
5.12. Ερωτήσεις	126

Κεφάλαιο 6: Γεωθερμομετρία

και γεωβαρομετρία	129
6.1. Εργαλεία για τη γεωθερμοβαρομετρία	129
6.2. Επιλογή αντιδράσεων για τη θερμοβαρομετρία	132
6.3. Εξάρτηση της σταθεράς ισορροπίας από τη θερμοκρασία και την πίεση	134
6.4. Μονομεταβλητές αντιδράσεις και μετατοπισμένες ισορροπίες	138
6.4.1. Πολύμορφα Al_2SiO_5	138
6.4.2. Βαρομετρία γρανάτη-ρουτιλίου- πολύμορφων Al_2SiO_5 -ιμενίτη-χαλαζία (GRAIL)	138
6.4.3. Βαρομετρία γρανάτη-πλαγιόκλαστου- πυρόξενου-χαλαζία (GAPES και GADS)	140
6.5. Αντιδράσεις ανταλλαγής	142
6.5.1. Θερμομετρία γρανάτη-κλινοπυρόξενου ...	143
6.5.2. Θερμομετρία γρανάτη-βιοτίτη (GABI)	145
6.5.3. Θερμομετρία μαγνητίτη-ιμενίτη και βαρομετρία οξυγόνου	146
6.6. Ισορροπίες απόμειξης	151
6.7. Αβεβαιότητες στις θερμοβαρομετρικές εκτιμήσεις	152
6.8. Θερμοβαρομετρία ρευστών εγκλεισμάτων	153
6.9. Σύνοψη	156
6.10. Ανακεφαλαίωση	157
6.11. Ερωτήσεις	157

Κεφάλαιο 7: Αντιδράσεις σε υδατικά

διαλύματα	161
7.1. Το νερό ως διαλύτης	161
7.2. Σχέσεις ενεργότητας-συγκέντρωσης σε υδατικά ηλεκτρολυτικά διαλύματα	162
7.2.1. Συντελεστής ενεργότητας μιας διαλυμένης ουσίας	162
7.2.2. Πρότυπη κατάσταση υδατικού διαλύματος	163
7.2.3. Υπολογισμός συντελεστών ενεργότητας διαλυμένων ουσιών	164
7.3. Διάσταση οξέων και βάσεων	167
7.4. Διαλυτότητα αλάτων	169
7.4.1. Η έννοια της διαλυτότητας	169

7.4.2. Γινόμενο διαλυτότητας	170
7.4.3. Δείκτης κορεσμού	173
7.4.4. Ζεύγη ιόντων	174
7.4.5. Υδατικά σύμπλοκα μετάλλων	175
7.5. Διάσταση του H_2CO_3 – το σύστημα του ανθρακικού οξέος	176
7.5.1. Ανοιχτό σύστημα	177
7.5.2. Κλειστό σύστημα	177
7.6. Οξύτητα και αλκαλικότητα διαλύματος	179
7.7. Ρυθμιστικά διαλύματα	180
7.8. Διάλυση και καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου	182
7.8.1. Διαλυτότητα του ασβεστίτη σε καθαρό νερό	182
7.8.2. Ανθρακική ισορροπία στο σύστημα $CaCO_3 - CO_2 - H_2O$	182
7.8.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαλυτότητα του ασβεστίτη	184
7.8.4. Αβιοτική καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου στους ωκεανούς	186
7.8.5. Βιολογική καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου στους ωκεανούς	188
7.8.6. Βάθος ισοστάθμισης ανθρακικών	190
7.9. Χημική αποσάθρωση των πυριτικών ορυκτών	191
7.9.1. Μηχανισμοί χημικής αποσάθρωσης	191
7.9.2. Διαλυτότητα του διοξειδίου του πυριτίου	192
7.9.3. Ισορροπία στο σύστημα $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$	194
7.10. Σύνοψη	198
7.11. Ανακεφαλαίωση	199
7.12. Ερωτήσεις	199

Κεφάλαιο 8: Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής

203	
8.1. Ορισμοί	203
8.2. Βολταϊκά στοιχεία	205
8.2.1. Στοιχείο ψευδαργύρου-υδρογόνου	205
8.2.2. Πρότυπο ηλεκτρόδιο υδρογόνου και πρότυπο δυναμικό ηλεκτροδίου	207
8.2.3. Το στοιχείο ψευδαργύρου-χαλκού	207
8.2.4. Ηλεκτροχημική σειρά	208
8.2.5. Στοιχείο καυσίμου υδρογόνου- οξυγόνου	209
8.3. Σχέση μεταξύ της μεταβολής της ελεύθερης ενέργειας (ΔG_r) και του δυναμικού ηλεκτροδίου (E) – η εξίσωση Nernst	210
8.4. Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh)	212
8.5. Η μεταβλητή pe	213
8.6. Διαγράμματα σταθερότητας $Eh-pH$	214
8.6.1. Όρια σταθερότητας του επιφανειακού νερού	215
8.6.2. Μεθοδολογία για την κατασκευή των διαγραμμάτων $Eh-pH$	217

8.6.3. Γεωχημική ταξινόμηση των οξειδοαναγωγικών περιβαλλόντων ιζηματογένεσης	221
8.7. Ο ρόλος των μικροοργανισμών στις αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής	222
8.7.1. Σημαντικοί μικροοργανισμοί στη γεωχημεία	222
8.7.2. Παραδείγματα αντιδράσεων οξειδοαναγωγής στις οποίες συμμετέχουν μικροοργανισμοί	224
8.8. Οξείδωση θειούχων ορυκτών	226
8.8.1. Η συμμετοχή των μικροοργανισμών	226
8.8.2. Οξείδωση του σιδηροπυρίτη	227
8.8.3. Όξινη απορροή μεταλλείων	228
8.8.4. Βιοεκχύλιση	229
8.8.5. Βιοοξείδωση	231
8.8.6. Βιοδιήθηση	232
8.9. Πτητικότητα οξυγόνου	233
8.9.1. Ρυθμιστικά διαλύματα οξυγόνου	234
8.9.2. Διαγράμματα πτητικότητας οξυγόνου-πτητικότητας θείου	235
8.10. Σύνοψη	236
8.11. Ανακεφαλαίωση	237
8.12. Ερωτήσεις	237

Κεφάλαιο 9: Κινητική των χημικών αντιδράσεων

9.1. Ταχύτητα χημικών αντιδράσεων (R): βασικές αρχές	242
9.1.1. Απλές και συνολικές αντιδράσεις	242
9.1.2. Έκφραση του νόμου της ταχύτητας	242
9.1.3. Εξισώσεις ολοκλήρωσης για στοιχειώδεις αντιδράσεις	244
9.1.4. Αρχή της ακριβούς εξισορρόπησης	246
9.1.5. Διαδοχικές στοιχειώδεις αντιδράσεις	247
9.1.6. Παράλληλες στοιχειώδεις αντιδράσεις	249
9.2. Εξάρτηση των σταθερών ταχύτητας από τη θερμοκρασία	250
9.2.1. Η εξίσωση Arrhenius – ενέργεια ενεργοποίησης	250
9.2.2. Μεταβατικές καταστάσεις	251
9.3. Σχέση μεταξύ ταχύτητας και μεταβολής ελεύθερης ενέργειας (ΔG_r) για μια στοιχειώδη αντίδραση	254
9.4. Καταλύτες	255
9.4.1. Ομογενής κατάλυση	255
9.4.2. Ετερογενής κατάλυση	256
9.5. Μεταφορά μάζας σε υδατικά διαλύματα	257
9.5.1. Εξίσωση μεταγωγής-διάχυσης	257
9.5.2. Εξάρτηση του συντελεστή διάχυσης από τη θερμοκρασία	259
9.6. Κινητική γεωχημικών διεργασιών – μερικά παραδείγματα	259

9.6.1. Μηχανισμοί αντιδράσεων που ελέγχονται από τη διάχυση και την επιφάνεια	259
9.6.2. Διάλυση και καθίζηση του ασβεστίτη σε υδατικά διαλύματα	260
9.6.3. Διάλυση πυριτικών ορυκτών	264
9.7. Σύνοψη	266
9.8. Ανακεφαλαίωση	268
9.9. Ερωτήσεις	268

ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ: ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

Κεφάλαιο 10: Ραδιογενή ισότοπα

10.1. Ραδιενεργή διάσπαση	274
10.1.1. Αφθονία και σταθερότητα των νουκλιδίων	274
10.1.2. Οι μηχανισμοί των πυρηνικών αντιδράσεων	274
10.2. Αρχές ραδιομετρικής χρονολόγησης	276
10.2.1. Διάσπαση ενός μητρικού ραδιονουκλιδίου προς ένα σταθερό θυγατρικό νουκλίδιο	276
10.2.2. Η βασική εξίσωση για τον ραδιομετρικό προσδιορισμό της ηλικίας	277
10.2.3. Σειρές διάσπασης	279
10.3. Οι συνηθέστερες μέθοδοι γεωχρονολόγησης	280
10.3.1. Σύστημα ρουβιδίου–στροντίου	280
10.3.2. Σύστημα σαμαρίου–νεοδυμίου	282
10.3.3. Σύστημα ουρανίου–θωρίου–μολύβδου	283
10.3.4. Σύστημα ρηνίου–οσμίου	293
10.3.5. Μέθοδος καλίου (^{40}K)–αργού (^{40}Ar)	294
10.3.6. Μέθοδος αργού (^{40}Ar)–αργού (^{39}Ar)	297
10.3.7. Μέθοδος άνθρακα-14	299
10.4. Οι αναλογίες των ισωτόπων ως πετρογενετικοί δείκτες	301
10.4.1. Αναλογίες ισωτόπων του στροντίου	301
10.4.2. Αναλογίες ισωτόπων του νεοδυμίου	302
10.4.3. Συνδυασμός αναλογιών ισωτόπων του στροντίου και του νεοδυμίου	304
10.4.4. Αναλογίες ισωτόπων του οσμίου	305
10.5. Σύνοψη	305
10.6. Ανακεφαλαίωση	307
10.7. Ερωτήσεις	307

Κεφάλαιο 11: Σταθερά ισότοπα

11.1. Ισοτοπική κλασμάτωση	313
11.1.1. Αίτια ισοτοπικής κλασμάτωσης	313
11.1.2. Μηχανισμοί ισοτοπικής κλασμάτωσης	314
11.1.3. Συντελεστής κλασμάτωσης	314
11.1.4. Ο συντελεστής δ (delta)	315
11.1.5. Υπολογισμός του συντελεστή κλασμάτωσης από τις τιμές δ	316

11.2. Τύποι ισοτοπικής κλασμάτωσης	318	12.1.3. Το Ηλιακό Σύστημα	360
11.2.1. Φαινόμενα ισοτοπικής εξισορρόπησης	318	12.1.4. Μετεωρίτες	362
11.2.2. Φαινόμενα κινητικής ισοτόπων	319	12.1.5. Οι περιεκτικότητες των στοιχείων στο Ηλιακό Σύστημα	366
11.3. Γεωθερμομετρία σταθερών ισοτόπων	320	12.1.6. Προέλευση του Ηλιακού Συστήματος: το μοντέλο των πλανητοειδών	367
11.3.1. Γεωθερμομετρία με ισότοπα οξυγόνου	321	12.2. Η εξέλιξη της Γης	369
11.3.2. Γεωθερμομετρία με ισότοπα θείου	323	12.2.1. Η εσωτερική δομή της Γης	369
11.4. Διεργασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης	323	12.2.2. Συνολική σύσταση της Γης (Bulk Earth)....	372
11.4.1. Εξάτμιση του ωκεάνιου νερού	324	12.2.3. Η αρχική γεωχημική διαφοροποίηση της πρωτο-Γης: σχηματισμός του πυρήνα και του μανδύα της Γης	375
11.4.2. Συμπύκνωση των υδρατμών	324	12.2.4. Σχηματισμός και ανάπτυξη του στερεού φλοιού της Γης	380
11.4.3. Γραμμή του μετεωρικού νερού (meteoric water line)	326	12.3. Δημιουργία και κρυστάλλωση των μαγμάτων	386
11.5. Πηγές του νερού στα υδροθερμικά ρευστά	327	12.3.1. Γεωχημικά χαρακτηριστικά των πρωτογενών μαγμάτων	387
11.6. Υπολογισμός του λόγου ρευστού προς πέτρωμα με βάση τις ισοτοπικές αναλογίες του οξυγόνου	329	12.3.2. Συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων κατά τη διάρκεια της μερικής τήξης των αρχικών πετρωμάτων	389
11.7. Ισότοπα θείου στα ιζηματογενή συστήματα.....	331	12.3.3. Συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων κατά τη διάρκεια της μαγματικής κρυστάλλωσης	394
11.7.1. Βακτηριακή αναγωγή των θειικών ιόντων (BSR)	332	12.3.4. Διαγράμματα χημικής μεταβολής	396
11.7.2. Θερμοχημική αναγωγή των θειικών ιόντων (TSR)	333	12.3.5. Σπάνιες γαίες	397
11.7.3. Ισοτοπική σύσταση του θείου στα θειικά ιόντα του θαλάσσιου νερού διά μέσου του γεωλογικού χρόνου	334	12.4. Γεωχημική διάκριση παλαιοτεκτονικών περιβαλλόντων των μαφικών ηφαιστειακών ακολουθιών	398
11.7.4. Ανοιχτά και κλειστά συστήματα ιζηματογένεσης σε σχέση με την οξειδωτική κατάσταση του θείου	335	12.4.1. Διαγράμματα τεκτονομαγματικής διάκρισης	398
11.7.5. Αναλογίες των ισοτόπων του θείου στα σουλφίδια των θαλάσσιων ιζημάτων	337	12.4.2. Αραχνοειδή διαγράμματα	401
11.8. Κλασμάτωση ανεξάρτητη της μάζας (mass-independent fractionation – MIF) των ισοτόπων του θείου	339	12.5. Σύνοψη	403
11.9. Ισότοπα του σιδήρου: γεωχημικές εφαρμογές	341	12.6. Ανακεφαλαίωση	404
11.9.1. Κλασμάτωση των ισοτόπων του σιδήρου	341	12.7. Ερωτήσεις	405
11.9.2. Αβιοτική και βιοτική καθίζηση ορυκτών σιδήρου στους ταινιωτούς σιδηρούχους σχηματισμούς	342		
11.10. Σύνοψη	344		
11.11. Ανακεφαλαίωση	345		
11.12. Ερωτήσεις	345		

ΜΕΡΟΣ IV: ΤΟ ΥΠΕΡΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

Κεφάλαιο 12: Το σύστημα πυρήνας–μανδύας– στερεός φλοιός

12.1. Η κοσμική διάσταση	351
12.1.1. Η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang): η αρχή του σύμπαντος	352
12.1.2. Νουκλεοσύνθεση (ή πυρηνοσύνθεση): δημιουργία των στοιχείων	353

Κεφάλαιο 13: Το σύστημα φλοιός–υδρόσφαιρα– ατμόσφαιρα

13.1. Η σύγχρονη ατμόσφαιρα	407
13.1.1. Κατανομή της θερμοκρασίας και της πίεσης στην ατμόσφαιρα	408
13.1.2. Φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα	411
13.1.3. Το στρώμα του όζοντος στη στρατόσφαιρα	412
13.1.4. Σύσταση της ατμόσφαιρας	414
13.2. Η εξέλιξη της γήινης ατμόσφαιρας μέσα στον γεωλογικό χρόνο	417
13.2.1. Η προέλευση της ατμόσφαιρας	417
13.2.2. Η θερμή Αρχαϊκή Γη: η σημασία του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου	420
13.2.3. Η οξυγόνωση της ατμόσφαιρας	421

13.2.4. Το Μεγάλο Οξειδωτικό Γεγονός (GOE)	423	13.8. Ανακεφαλαίωση	467
13.2.5. Ένα μοντέλο για την εξέλιξη της ατμόσφαιρας	430	13.9. Ερωτήσεις	467
13.2.6. Η ατμόσφαιρα του Φανεροζωικού	432	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	471
13.3. Ατμοσφαιρική ρύπανση: διεργασίες και επιπτώσεις	434	1 Μονάδες μέτρησης και φυσικές σταθερές	473
13.3.1. Η εξάντληση του όζοντος της στρατόσφαιρας – η «τρύπα του όζοντος»	434	2 Ηλεκτρονιακή διαμόρφωση των χημικών στοιχείων στη θεμελιώδη τους κατάσταση	475
13.3.2. Η αιθαλομίχλη (smog)	438	3 Δυναμικό πρώτου ιοντισμού, ηλεκτρονιακή συγγένεια, ηλεκτραρνητικότητα (κλίμακα Pauling) και αριθμοί συναρμογής επιλεγμένων στοιχείων	479
13.3.3. Η όξινη βροχή	441	4 Σύμβολα θερμοδυναμικής	481
13.3.4. Αέρια του θερμοκηπίου και παγκόσμια υπερθέρμανση	442	5 Θερμοδυναμικά δεδομένα για επιλεγμένα στοιχεία, ιόντα και ενώσεις σε πρότυπες συνθήκες (298,15 K, 10^5 Pa = 1 bar)	485
13.4. Η υδρόσφαιρα	446	6 Πτητικότητα των H ₂ O και CO ₂ στις περιοχές 0,5-10 kbar και 200°C-1.000°C	499
13.4.1. Σύσταση του σύγχρονου θαλάσσιου νερού	447	7 Εξισώσεις για τους συντελεστές ενεργότητας σε κανονικά στερεά διαλύματα πολλών συστατικών	501
13.4.2. Ισορροπία μαζών των διαλυμένων συστατικών στο θαλάσσιο νερό	449	8 Ευρέως χρησιμοποιούμενα προγράμματα H/Y για τη μοντελοποίηση γεωχημικών διεργασιών σε υδατικά διαλύματα	503
13.5. Η εξέλιξη των ωκεανών στον γεωλογικό χρόνο	452	9 Σχετική αφθονία των χημικών στοιχείων στο Ηλιακό Σύστημα σε σχέση με το πυρίτιο ...	505
13.5.1. Προέλευση των ωκεανών	452	10 Απαντήσεις σε επιλεγμένες ερωτήσεις από το τέλος κάθε κεφαλαίου	507
13.5.2. Οξειδωτική κατάσταση των ωκεανών	454	Βιβλιογραφία	511
13.5.3. Σύσταση των ωκεανών	455	Ευρετήριο	
13.6. Αλληλεπιδράσεις γεώσφαιρας-υδρόσφαιρας-ατμόσφαιρας-βιόσφαιρας: παγκόσμιοι βιογεωχημικοί κύκλοι	457		
13.6.1. Ο κύκλος του άνθρακα	459		
13.6.2. Ο κύκλος του οξυγόνου	461		
13.6.3. Ο κύκλος του αζώτου	462		
13.6.4. Ο κύκλος του θείου	464		
13.6.5. Ο κύκλος του φωσφόρου	464		
13.7. Σύνοψη	465		